

# Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung

Gockenbach, Ernst

Veröffentlicht in:  
Jahrbuch 2011 der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.113-118



J. Cramer Verlag, Braunschweig

## **Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung\***

ERNST GOCKENBACH

Leibniz Universität Hannover, Schering Institut  
Callinstraße 25 A, D-30167 Hannover

### **Einleitung**

Die Zuverlässigkeit eines technischen Produkts oder Systems ist eine Eigenschaft, die angibt, wie verlässlich eine dem Produkt oder System zugewiesene Funktion in einem Zeitintervall erfüllt wird. Sie unterliegt einem stochastischen Prozess, kann qualitativ oder auch quantitativ (durch die Überlebenswahrscheinlichkeit) beschrieben werden und ist nicht unmittelbar messbar. Eine Anwendung dieser Definition auf die elektrische Energieversorgung bedeutet, dass auch ein Ausfall möglich ist, da kein technisches Produkt frei von der Möglichkeit eines Ausfalles ist. Diese grundsätzliche Bedingung wird leider im Alltag oft nicht beachtet, die sehr hohe Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung wird als selbstverständlich angenommen und nur bei einem Ausfall, der in Deutschland im Bereich von ca. 15 Minuten pro Energieabnehmer und Jahr liegt, wird über die elektrische Energieversorgung diskutiert.

### **Ursachen der Versorgungsunterbrechung und Abhilfen**

Ein Blick in die Statistik zeigt zunächst, dass die Versorgungsunterbrechung zu etwa 2 Drittel geplant ist und sich der Verbraucher darauf einstellen kann. Die ungeplanten Ursachen teilen sich auf in etwa 40% höhere Gewalt (ohne Naturkatastrophen), etwa 24% Beschädigung durch Dritte (Beschädigung von Kabeln durch Erdarbeiten) und etwa 32% interne Arbeiten des Energieversorgungsunternehmens. Von diesen ungeplanten Unterbrechungen geht in der Regel keine Unterbrechung der Energieversorgung der Verbraucher aus, da die Auslegung der Systeme nach der sogenannten n-1 Regel erfolgt. Diese besagt, dass auch bei Ausfall einer Komponente die anderen Komponenten diesen Ausfall kom-

---

\* Kurzfassung des am 14.10.2011 in der Klasse für Ingenieure der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft gehaltenen Vortrages.

pensieren können. Fällt also z.B. ein großes Kraftwerk in Deutschland aus, dann erbringen die anderen Kraftwerke die erforderliche Leistung, wobei innerhalb des europäischen Netzes diese Leistung auch in einem anderen Land erbracht werden kann.

### Stabilitätsbedingungen

Eine wesentliche Eigenschaft der elektrischen Energieversorgung ist die Einhaltung des Gleichgewichtes zwischen erzeugter und verbrauchter Energie, wobei es physikalisch korrekt heißen müsste: zwischen der Energiewandlung von mechanischer/thermischer Energie in elektrische Energie und von elektrischer Energie in mechanische/thermische Energie. Diese geforderte Stabilität hat zwei Komponenten, die Frequenz der Wechselspannung und die Leistung. Es ist also notwendig, die in Deutschland eingeführte Frequenz von 50 Hz sehr genau einzuhalten, wobei diese Frequenz für das gesamte europäische Verbundnetz (UCTE) gilt. Nur Abweichungen von bis zu 0,05 Hz, entsprechend 0,1%, sind erlaubt und Frequenzschwankungen treten durch laufende Laständerungen auf, da Verbraucher sich zuschalten und abschalten ohne das Energieversorgungsunternehmen zu informieren. Eine derartige Meldepflicht würde auch unsere Freizügigkeit bezüglich elektrischer Energieversorgung erheblich bzw. unakzeptabel einschränken. Um diese engen Grenzen der Frequenzvorgabe einzuhalten, ist eine schnelle Regelung erforderlich, so dass die Erzeugung sich unmittelbar dem Verbrauch anpasst. Diese Maßnahmen werden dann in sogenannte Primärregelung und Sekundärregelung unterteilt, die im Bereich von Sekunden und Minuten erfolgen müssen. Längere Ausgleichsmaßnahmen werden unter dem Begriff Minutenreserve zusammengefasst. Diese Art der Regelung bedeutet eine Anpassung der Erzeugung an den Verbrauch, damit die Verbraucher keine Auswirkung des Ausfalls einer Komponente bemerken. Voraussetzung dafür ist aber eine ständig kurzfristig verfügbare Reserveleistung, die im Bedarfsfall sofort automatisch und in entsprechender Größe abgerufen werden kann. Es ist daraus abzuleiten, dass diese Leistungsfähigkeit der elektrischen Energieversorgung Kosten verursacht, die von allen Partnern innerhalb des Systems getragen werden müssen. In Abb. 1 ist symbolhaft die Gleichgewichtsbedingung im linken Teil dargestellt und im rechten Teil die technische Lösung für diesen Fall, wobei hier als Prämisse die Anpassung der Erzeugung an den Verbrauch gilt.

Es ist von der technischen Seite auch möglich, die Einhaltung des Gleichgewichtes durch Anpassung des Verbrauchs zu regeln. Hier zeigen sich aber Grenzen, die technisch oder aber durch die Erwartungshaltung oder vertragliche Vereinbarungen bedingt sein können. Ein Verbraucher, der eine gewisse Zeit ohne Energiezufuhr sein kann wie z.B. ein Kühlhaus oder eine Tiefkühltruhe,

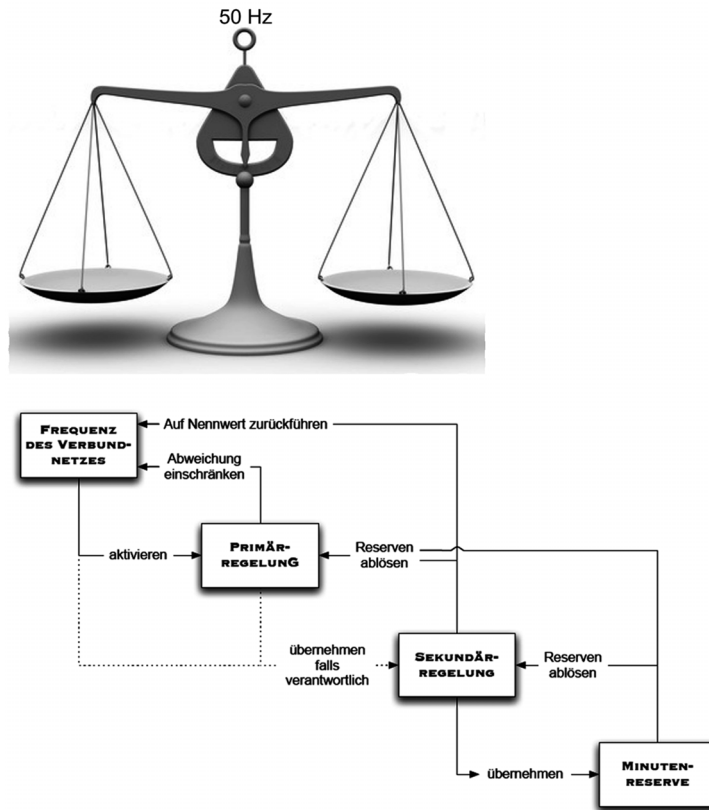


Abb. 1: Gleichgewichtsbedingung der elektrischen Energieversorgung.

kann für eine bestimmte Zeit abgeschaltet werden, ohne dass es zu Schwierigkeiten kommt. Eine elektrische Speicherheizung kann in ihrem Aufladungsprozess ebenfalls in Grenzen der Erzeugung angepasst werden. Eine Aluminiumschmelze in einem Hochofen benötigt allerdings kontinuierlich Energie und kann daher nicht abgeschaltet werden, falls eine Komponente der elektrischen Energieversorgung ausfällt. Im privaten Bereich würde es auch nicht akzeptiert werden, wenn die elektrische Energieversorgung unerwartet ausfällt bzw. aufgrund eines Ausfalls einer Erzeugungsanlage abgeschaltet würde und somit z.B. kein Licht oder kein Unterhaltungsmedium zur Verfügung stünden.

Die nachstehende tabellarische Zusammenstellung der Maßnahmen bei Änderung der Frequenz soll zeigen, welche zum Teil sehr gravierenden Maßnahmen notwendig sind, um das System stabil zu halten bzw. Teile des Systems vor Schäden zu bewahren. Daraus ist auch abzuleiten, welche erheblichen Vorkeh-

Tabelle 1: Liste der Maßnahmen bei Frequenzabsenkung.

Stufe	Frequenz	Maßnahmen zur Kompensation bzw. zum Schutz
1	49,8	Einsatz von Regelleistung
2	49	sofortiger Abwurf von 10...15% der Netzlast
3	48,7	sofortiger Abwurf von weiteren 10...15% der Netzlast
4	48,4	sofortiger Abwurf von weiteren 10...15% der Netzlast
5	47,5	Netztrennung der Kraftwerke

rungen getroffen werden, damit die in der Tabelle aufgeführten Maßnahmen nicht ausgeführt werden müssen.

Es ist an dieser Stelle darauf hinzuweisen, dass auch Frequenzerhöhungen eintreten können, wenn die Erzeugung größer als der Verbrauch ist. Es wäre nun technisch einfach, die Erzeugung dem Verbrauch anzupassen, aber hier sind dann Bedingungen zu beachten, die nichttechnischer Art sind. Das Gesetz für den Vorrang erneuerbarer Energien (EEG) sieht eine bevorzugte Erzeugung aus erneuerbaren Quellen vor. Diese Erzeugung ist aber nicht immer in unmittelbarer Nähe der Verbraucher, so dass ein Transport der elektrischen Energie erforderlich ist und dafür entsprechende Transportkapazitäten zur Verfügung stehen müssen. Falls dieses nicht der Fall ist, sind Instabilitäten des Systems zu erwarten.

Eine Besonderheit stellen zurzeit noch Photovoltaik Anlagen dar. Aufgrund von Besonderheiten in der Regelung dieser Anlagen erfolgt bei einer Frequenzüberschreitung eine sofortige Abschaltung, so dass bei starker Sonneneinstrahlung und geringem Verbrauch eine Situation entstehen kann, in der zu einem Zeitpunkt eine hohe Erzeugung abgeschaltet wird. Eine unmittelbare Kompensation ist aufgrund der vorangegangenen niedrigen Last und der damit verbundenen Reduktion der Erzeugung aus anderen Quellen unter Umständen nicht möglich, so dass auch in diesem Fall eine Instabilität des Systems eintreten kann. Um dieses zu verdeutlichen, soll eine einfache und sicherlich extreme Berechnung vorgenommen werden. Die installierte Leistung der Photovoltaik Anlagen in Deutschland beträgt 2011 ca. 20 GW. Ein Ausfall dieser Leistung würde den Einsatz von ca. 15 Großkraftwerken bedeuten, wenn von einer Leistung pro Großkraftwerk von 1,3 GW ausgegangen wird (Kernkraftwerke haben eine Leistung von ca. 1,3 GW).

Mit der weiteren Zunahme von Photovoltaik Anlagen würde die Situation noch kritischer werden, so dass Regelungen in Kraft treten werden, die eine plötzliche Abschaltung nicht mehr zulassen, sondern eine geregelte Leistungsabnahme bei den Photovoltaik Anlagen vorsehen.

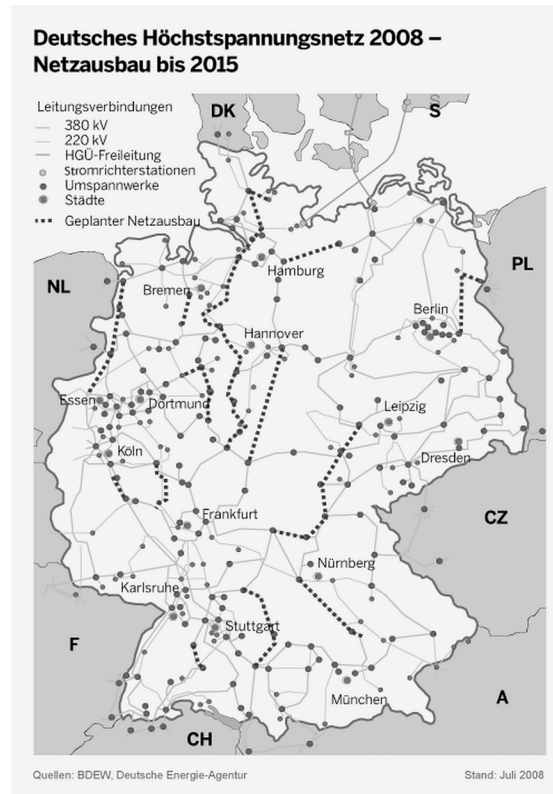


Abb. 2: Planung der Höchstspannungsnetze im Jahre 2008 (vor der Entscheidung über die Abschaltung aller Kernkraftwerke)

## Verbundnetze

Die Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung wird durch den Verbund der Erzeuger in einem erheblichen Umfang gewährleistet. Da Erzeugung und Verbrauch aber nicht am selben Ort erfolgen, sind Transportsysteme notwendig, die als Übertragungssysteme oder Hoch- bzw. Höchstspannungsnetze bezeichnet werden. Abb. 2 zeigt eine Momentaufnahme der Planung bis zum Jahre 2015, die im Jahre 2008 prognostiziert wurde, also vor dem Zeitpunkt der politischen Entscheidung, den Betrieb der Kernkraftwerke bis zum Jahre 2020 einzustellen. Diese gibt aber trotzdem bereits einen Eindruck über die notwendige Verstärkung der Höchstspannungsnetze, die durch die neueren Entscheidungen noch erhöht wurde.

### **Konsequenzen der Abschaltung der Kernkraftwerke**

Es wird an vielen Stellen behauptet, dass die Abschaltung der Kernkraftwerke keine Probleme bezüglich der Zuverlässigkeit der elektrischen Energieversorgung bereitet. Diese Aussage ist nicht grundsätzlich falsch, aber auch nicht grundsätzlich richtig. Als Beleg sollen ein paar Zahlen aus dem Jahr 2011 dienen, die zwar extreme Situationen darstellen, aber für eine Bewertung der vergangenen und zukünftigen Situationen geeignet sind. Am 11. März 2011 stand eine Leistung aus Windkraftanlagen in Höhe von ca. 18 GW und aus Solaranlagen von ca. 5 GW zur Verfügung. Der Export von Leistung betrug ca. 10 GW. Am 23. März 2011 nach der Abschaltung von einigen Kernkraftanlagen betrug die Leistung aus Windkraftanlagen ca. 2 GW und aus Solaranlagen 0 GW (während der Nacht) und es war ein Import von ca. 6 GW erforderlich. Als Konsequenz aus diesen Beispielen ist eindeutig abzulesen, dass bei dem hohen angestrebten Anteil von Erzeugung aus regenerierbaren Quellen, die aber dargebotsabhängig sind, eine wirtschaftliche Speichermöglichkeit von Energie unbedingt erforderlich ist und dabei beachtet werden muss, dass die universelle Anwendung elektrischer Energie mehr oder weniger erhalten bleiben muss und andere Energieformen nur bedingt genutzt werden können.

### **Diagnose als Beitrag zur Zuverlässigkeit**

Die Komponenten der elektrischen Energieversorgung wie Transformatoren, Kabel, Freileitungen, Schalter usw. unterliegen einem Alterungsprozess, der im Wesentlichen durch die Änderung der elektrischen Eigenschaften der Isoliersysteme beschrieben werden kann, da in fast allen Komponenten Hochspannung zum Einsatz kommt. Für eine Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Isoliersysteme wurden zahlreiche Diagnosemethoden entwickelt, die in Abhängigkeit ihrer Anwendung während des Betriebes oder außerhalb des Betriebes eingesetzt werden können. Mit Hilfe von Erfahrungswerten und verschiedenen Auswertemethoden können dann Maßnahmen festgelegt werden, die einen Beitrag zur Zuverlässigkeit liefern und wirtschaftlich vertretbar und möglich sind.

### **Schlussbemerkung**

Die elektrische Energieversorgung ist in Deutschland sehr zuverlässig und wir sind in der Zuverlässigkeitsstatistik im europäischen Netz auf dem ersten Platz. Diese Position sollten wir auch in Zukunft behalten, aber dazu sind Anstrengungen wie Netzausbau notwendig, da die geplante Erzeugung aus regenerierbaren Quellen nicht an den Orten stattfinden kann an denen die Energie benötigt wird. Die technische Lösung dieser Aufgaben ist kein Problem, aber für die Akzeptanz und das Verständnis der notwendigen Maßnahmen sind noch weitere Bemühungen erforderlich.